

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-194262

(43)Date of publication of application : 08.07.2004

(51)Int.Cl.

H04B 7/06
H04J 15/00

(21)Application number : 2003-011637

(71)Applicant : NTT DOCOMO INC

(22)Date of filing : 20.01.2003

(72)Inventor : ABE TETSUSHI
TOKI SATOSHI
YAMADA TAKESHI
TOMISATO SHIGERU
SUDA HIROTO
SHOMURA TATSURO

(30)Priority

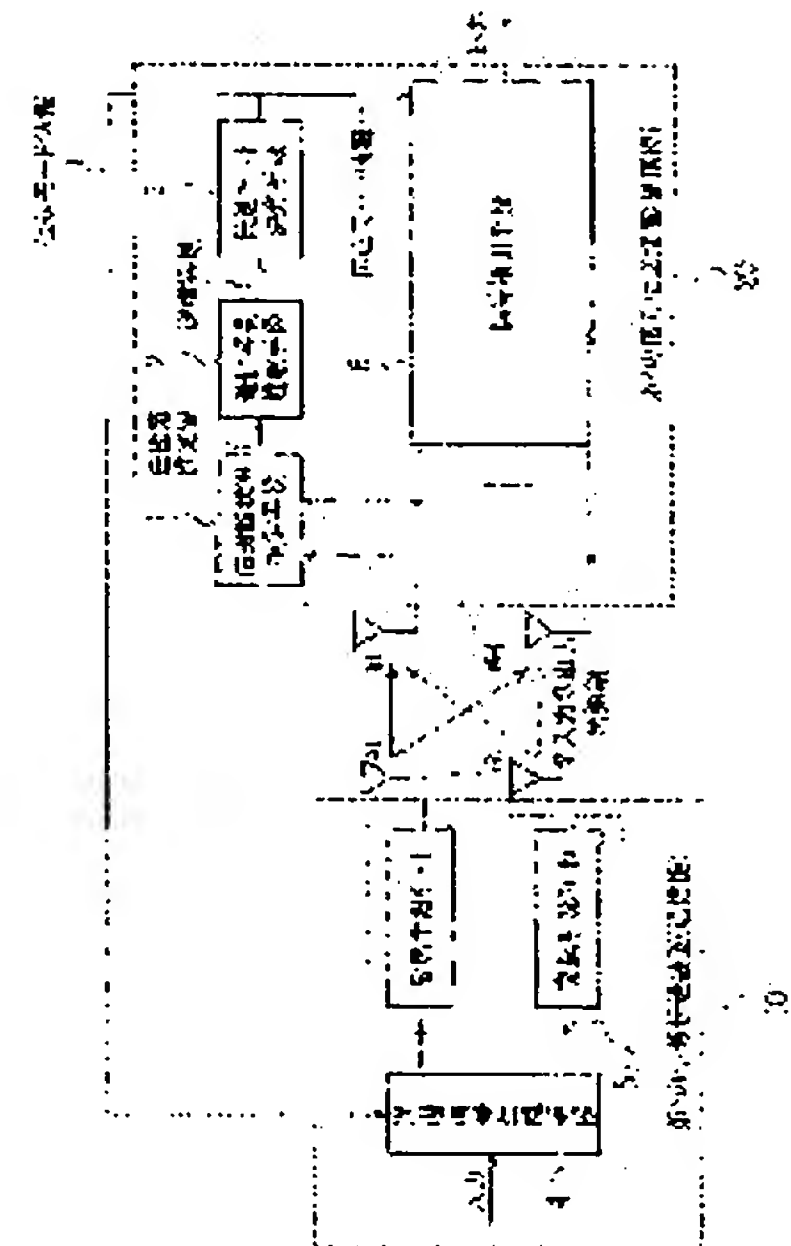
Priority number : 2002305062 Priority date : 18.10.2002 Priority country : JP

(54) SIGNAL TRANSMISSION SYSTEM, SIGNAL TRANSMISSION METHOD AND TRANSMITTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce a considerable deterioration in characteristics on a propagation path of high correlation in a spatial multiplex transmission method.

SOLUTION: The signal transmission system for transmitting a signal from a transmitter 10 having a transmission antenna to a receiver 20 having a reception antenna, is provided with a propagation path estimating means 1 for estimating a propagation path estimate indicating a status of a propagation path between the transmission antenna and the reception antenna for each transmission mode designating the transmission antenna to be used for signal transmission, a communication capacity estimating means 2 for estimating communication capacity for each transmission mode from the propagation path estimate, a transmission mode determining means 3 for determining the transmission mode fulfilling desired communication capacity on the basis of the estimated communication capacity for each transmission mode, and a transmitting signal generating means 4 for generating a transmitting signal to be transmitted in accordance with the determined transmission mode.



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-194262

(P2004-194262A)

(43) 公開日 平成16年7月8日(2004.7.8)

(51) Int.Cl.⁷

H04B 7/06

H04J 15/00

F I

H04B 7/06

H04J 15/00

テーマコード (参考)

5K022

5K059

審査請求 未請求 請求項の数 35 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2003-11637 (P2003-11637)
(22) 出願日 平成15年1月20日 (2003.1.20)
(31) 優先権主張番号 特願2002-305062 (P2002-305062)
(32) 優先日 平成14年10月18日 (2002.10.18)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 392026693
株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ
東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(74) 代理人 100083806
弁理士 三好 秀和
(74) 代理人 100100712
弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
(74) 代理人 100095500
弁理士 伊藤 正和
(74) 代理人 100101247
弁理士 高橋 俊一
(72) 発明者 阿部 哲士
東京都千代田区永田町二丁目11番1号
株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

最終頁に続く

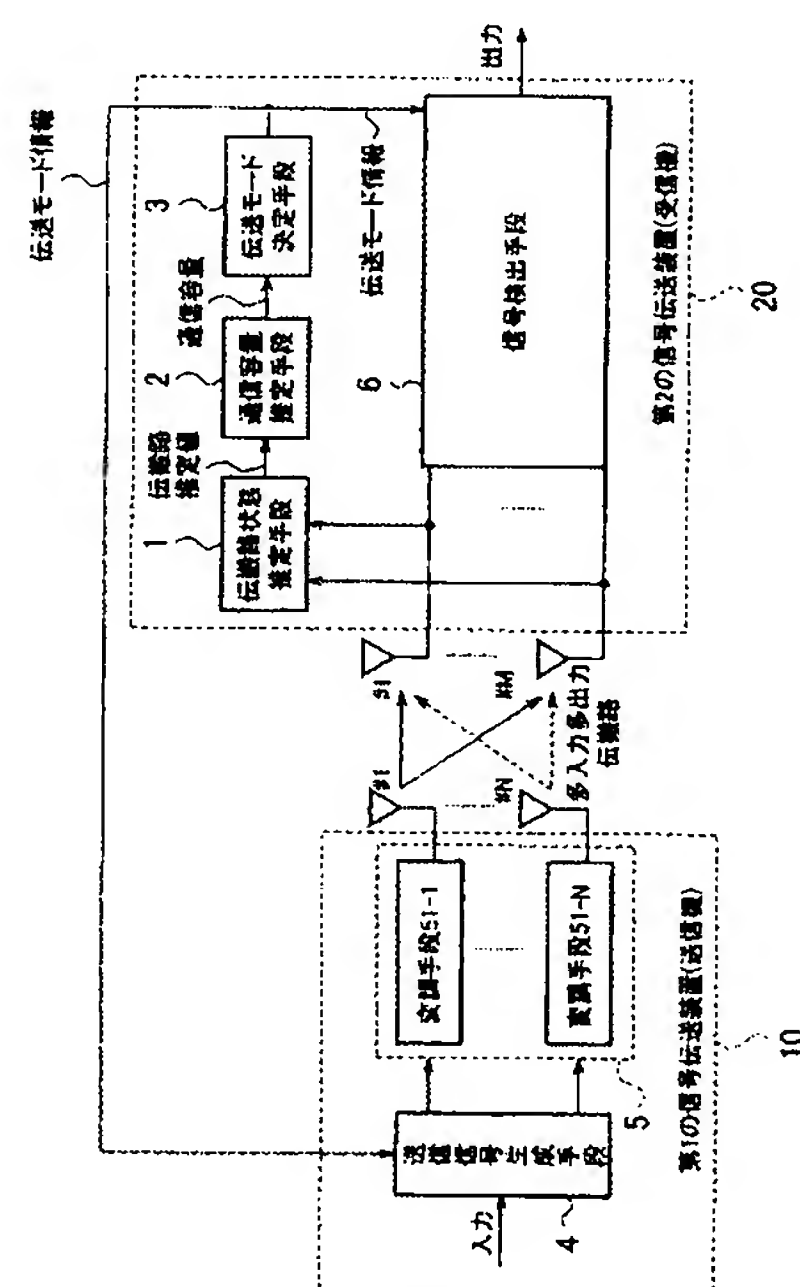
(54) 【発明の名称】 信号伝送システム、信号伝送方法及び送信機

(57) 【要約】

【課題】 空間多重送信法において、相関の高い伝搬路における大幅な特性劣化を改善する。

【解決手段】 本発明は、送信用アンテナを有する送信機10から受信用アンテナを有する受信機20に信号伝送を行う信号伝送システムであって、信号伝送に使用する送信用アンテナを指定する伝送モード毎に送信用アンテナと受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段1と、伝搬路推定値から伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段2と、推定された伝送モード毎の通信容量に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段3と、決定された伝送モードに応じて伝送すべき送信信号を生成する送信信号生成手段4とを備えることを要旨とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項1】**

送信用アンテナを有する送信機から受信用アンテナを有する受信機に信号伝送を行う信号伝送システムであって、

前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、

前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、

推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段と、

決定された前記伝送モードに応じて、伝送すべき送信信号を生成する送信信号生成手段とを備えることを特徴とする信号伝送システム。

10

【請求項2】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナを用いる伝送モードと、1本の前記送信用アンテナのみを用いる伝送モードとを含むことを特徴する請求項1に記載の信号伝送システム。

【請求項3】

前記伝送モードは、前記受信用アンテナの本数を指定することを特徴とする請求項1又は2に記載の信号伝送システム。

【請求項4】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに独立な信号を送る伝送モードと、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに従属な信号を送る伝送モードとを含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の信号伝送システム。

20

【請求項5】

前記伝送モードは、前記送信信号の変調多値数又は前記送信信号の符号化率の少なくとも一つを指定することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の信号伝送システム。

【請求項6】

前記通信容量推定手段は、前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（S I N R）を算出するS I N R算出手段を有し、
前記通信容量推定手段は、前記S I N R算出手段によって算出された前記S I N Rに基づいて前記伝送モード毎の通信容量を推定することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の信号伝送システム。

30

【請求項7】

前記通信容量推定手段は、
前記伝搬路推定値を用いて、前記伝搬路における空間相関値を算出する空間相関値算出手段と、
前記受信機における受信信号の信号電力対雑音電力比（S N R）を算出するS N R算出手段と、
前記空間相関値と前記S N Rとを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定する容量決定手段とを有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の信号伝送システム。

40

【請求項8】

前記容量決定手段は、
複数の送信用アンテナを用いる伝送モードでは、前記空間相関値と前記S N Rとを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定し、

1本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードでは、前記S N Rのみを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定することを特徴とする請求項7に記載の信号伝送システム。

【請求項9】

前記空間相関値算出手段は、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナの全ての組み合

50

わせにおける空間相関値の最大値又は平均値を、前記空間相関値として算出することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の信号伝送システム。

【請求項 10】

前記伝送モード決定手段により決定された前記伝送モードを、前記送信信号生成手段に通知する通知手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 に記載の信号伝送システム。

【請求項 11】

送信用アンテナを有する送信機から受信用アンテナを有する受信機に信号伝送を行う信号伝送方法であって、

前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する工程 A と

10

、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する工程 B と、

推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する工程 C と、

決定された前記伝送モードに応じて、伝送すべき送信信号を生成する工程 D とを有することを特徴とする信号伝送方法。

【請求項 12】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナを用いる伝送モードと、1 本の前記送信用アンテナのみを用いる伝送モードとを含むことを特徴する請求項 11 に記載の信号伝送方法。

20

【請求項 13】

前記伝送モードは、前記受信用アンテナの本数を指定することを特徴とする請求項 11 又は 12 に記載の信号伝送方法。

【請求項 14】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに独立な信号を送る伝送モードと、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに従属な信号を送る伝送モードとを含むことを特徴とする請求項 11 乃至 13 のいずれか一項に記載の信号伝送方法。

【請求項 15】

前記伝送モードは、前記送信信号の変調多値数又は前記送信信号の符号化率の少なくとも一つを指定することを特徴とする請求項 11 乃至 14 のいずれか一項に記載の信号伝送方法。

30

【請求項 16】

前記工程 B において、前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比 (S I N R) を算出し、算出した該 S I N R に基づいて前記伝送モード毎の通信容量を推定することを特徴とする請求項 11 乃至 15 のいずれか一項に記載の信号伝送方法。

【請求項 17】

前記工程 B は、

前記伝搬路推定値を用いて、前記伝搬路における空間相関値を算出する工程 B 1 と、

前記受信機における受信信号の信号電力対雑音電力比 (S N R) を算出する工程 B 2 と、

40

前記空間相関値と前記 S N R とを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定する工程 B 3 とを有することを特徴とする請求項 11 乃至 15 のいずれか一項に記載の信号伝送方法。

【請求項 18】

前記工程 B 3 において、

複数の送信用アンテナを用いる伝送モードでは、前記空間相関値と前記 S N R とを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定し、

1 本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードでは、前記 S N R のみを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定することを特徴とする請求項 17 に記載の信号伝送方法。

【請求項 19】

前記工程 B 1 において、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナの全ての組み合わせ

50

における空間相関値の最大値又は平均値を、前記空間相関値として算出することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の信号伝送方法。

【請求項 20】

前記工程 C において、決定された前記伝送モードを前記送信機に通知し、
前記工程 D において、通知された前記伝送モードに応じて前記送信信号を生成することを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 9 に記載の信号伝送方法。

【請求項 21】

受信用アンテナを有する受信機に送信用アンテナを介して送信信号を送信する送信機であって、

使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、
前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、
推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段と、
決定された前記伝送モードに応じて、前記送信信号を生成する送信信号生成手段とを備えることを特徴とする送信機。

10

【請求項 22】

受信用アンテナを有する受信機に送信用アンテナを介して送信信号を送信する送信機であって、

前記受信機は、前記送信信号の送信に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、推定された前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段とを具備し、
前記受信機の伝送モード決定手段によって決定された前記伝送モードを取得し、取得した前記伝送モードに応じて前記送信信号を生成する送信信号生成手段を備えることを特徴とする送信機。

20

【請求項 23】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナを用いる伝送モードと、1 本の前記送信用アンテナのみを用いる伝送モードとを含むことを特徴する請求項 2 1 又は 2 2 に記載の送信機。

30

【請求項 24】

前記伝送モードは、前記受信用アンテナの本数を指定することを特徴とする請求項 2 1 乃至 2 3 のいずれか一項に記載の送信機。

【請求項 25】

前記伝送モードは、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに独立な信号を送る伝送モードと、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに従属な信号を送る伝送モードとを含むことを特徴とする請求項 2 1 乃至 2 4 のいずれか一項に記載の送信機。

【請求項 26】

前記伝送モードは、前記送信信号の変調多値数又は前記送信信号の符号化率の少なくとも一つを指定することを特徴とする請求項 2 1 乃至 2 5 のいずれか一項に記載の送信機。

40

【請求項 27】

前記通信容量推定手段は、前記伝搬路推定値を用いて、受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比 (S I N R) を算出する S I N R 算出手段を有し、
前記通信容量推定手段は、前記 S I N R 算出手段によって算出された前記 S I N R に基づいて前記伝送モード毎の通信容量を推定することを特徴とする請求項 2 1 乃至 2 6 のいずれか一項に記載の送信機。

【請求項 28】

前記通信容量推定手段は、
前記伝搬路推定値を用いて、前記伝搬路における空間相関値を算出する空間相関値算出手

50

段と、

受信信号の信号電力対雑音電力比（S N R）を算出する S N R 算出手段と、
前記空間相関値と前記 S N R とを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定する容量決定手段とを有することを特徴とする請求項 2 1 乃至 2 6 のいずれか一項に記載の送信機。

【請求項 29】

前記容量決定手段は、

複数の送信用アンテナを用いる伝送モードでは、前記空間相関値と前記 S N R とを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定し、

1 本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードでは、前記 S N R のみを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定することを特徴とする請求項 2 8 に記載の送信機。

10

【請求項 30】

前記空間相関値算出手段は、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナの全ての組み合わせにおける空間相関値の最大値又は平均値を、前記空間相関値として算出することを特徴とする請求項 2 8 又は 2 9 に記載の送信機。

【請求項 31】

前記受信機は、前記伝送モード決定手段により決定された前記伝送モードを、前記送信機の送信信号生成手段に通知する通知手段を有することを特徴とする請求項 2 1 乃至 3 0 のいずれか一項に記載の送信機。

【請求項 32】

前記通信容量推定手段は、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定すると共に、該伝送モード毎の通信容量が最大となる電力分配値を計算し、

20

前記伝送モード決定手段は、推定された前記伝送モード毎の前記通信容量及び前記電力分配値に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定し、

前記送信信号生成手段は、決定された前記伝送モード及び前記電力分配値に応じて前記送信信号を生成することを特徴とする請求項 1 に記載の信号伝送システム。

【請求項 33】

前記通信容量推定手段は、前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（S I N R）を算出する S I N R 算出手段と、

算出された前記 S I N R を用いて前記伝送モード毎の通信容量が最大となる前記電力分配値を計算する電力分配値計算手段とを具備することを特徴とする請求項 3 2 に記載の信号伝送システム。

30

【請求項 34】

前記工程 B において、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定すると共に、該伝送モード毎の通信容量が最大となる電力分配値を計算し、

前記工程 C において、推定された前記伝送モード毎の前記通信容量及び前記電力分配値に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定し、

前記工程 D において、決定された前記伝送モード及び前記電力分配値に応じて前記送信信号を生成することを特徴とする請求項 1 1 に記載の信号伝送方法。

【請求項 35】

前記工程 B は、

40

前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（S I N R）を算出する工程 B 1 1 と、

算出された前記 S I N R を用いて前記伝送モード毎の通信容量が最大となる前記電力分配値を計算する工程 B 1 2 とを有することを特徴とする請求項 3 4 に記載の信号伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、無線通信における多入力多出力通信において利用可能な信号伝送システム、信号伝送方法及び送信機に関する。

50

【0002】

【従来の技術】

近年、複数の送信用アンテナを用いて信号伝送を行う多入力多出力 (Multiple Input and Multiple Output: MIMO) 通信システムが、将来の大容量通信システムとして注目されている。従来、複数の送信用アンテナを用いて信号伝送を行う方式 (以下、複数アンテナ送信方式) として、送信ダイバーシチ、送信ビームフォーミング、空間多重送信法が知られている。

【0003】

図17に、これらの方式の一つである空間多重送信法の構成を示す。図17に示すように、空間多重送信法は、第1の信号伝送装置10の送信信号生成手段4において生成されたアンテナ毎の信号を、変調手段51-1乃至51-Nで変調し、複数の送信用アンテナ#1乃至#Nを介して第2の信号伝送装置20に送信する方式である。

10

【0004】

ここで、第1の信号伝送装置10から送信された信号は、送信用アンテナ#1乃至#N及び受信用アンテナ#1乃至#Mにより形成される多入力多出力伝搬路 (以下、MIMO伝搬路) を経て、第2の信号伝送装置20で受信され、第2の信号伝送装置20の信号検出手段6で検出される。

【0005】

このように、空間多重送信法は、異なる送信用アンテナを介して同時刻及び同周波数上で独立な信号を送信するため、より大きい伝送容量を得ることが可能である。空間多重送信法を用いた信号伝送システムの具体的な構成として、例えば、非特許文献1に開示されたものが提案されている。

20

【0006】**【非特許文献1】**

V. Tarokh, H. Jafarkhani 及び A. R. Calderbank 著、「Space-time block coding for wireless communications: Performance results」、IEEE J. Select. Areas Commun. vol. 17、451乃至460頁、1999年3月

【0007】**【特許文献1】**

特開2002-50990号公報

30

【0008】**【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、従来の空間多重送信法を用いた信号伝送システムでは、第2の信号伝送装置 (受信機) 20が、複数の送信用アンテナ#1乃至#N及び受信用アンテナ#1乃至#Mによって構成される多入力多出力伝搬路の独立性 (低相関性) を利用して同一チャネル上の複数の信号を分離して検出する。したがって、第1の信号伝送装置 (送信機) 10と第2の信号伝送装置 (受信機) 20との間に見通しがある場合など、MIMO伝搬路の相関が高くなる場合は、第2の信号伝送装置 (受信機) 20による信号分離特性が劣化するため、従来の空間多重送信法を用いた信号伝送システムによって達成可能な通信容量が大幅に劣化するという問題点があった。

40

【0009】

そこで、本発明は、以上の点に鑑みてなされたもので、空間多重送信法を用いた場合であっても、相関の高いMIMO伝搬路における大幅な特性劣化を改善することのできる信号伝送システム、信号伝送方法及び送信機を提供することを目的とする。

【0010】**【課題を解決するための手段】**

本発明の第1の特徴は、送信用アンテナを有する送信機から受信用アンテナを有する受信機に信号伝送を行う信号伝送システムであって、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬

50

路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段と、決定された前記伝送モードに応じて、伝送すべき送信信号を生成する送信信号生成手段とを備えることを要旨とする。

【0011】

本発明の第1の特徴において、前記伝送モードが、利用可能な全ての前記送信用アンテナを用いる伝送モードと、1本の前記送信用アンテナのみを用いる伝送モードとを含むことが好ましい。

【0012】

また、本発明の第1の特徴において、前記伝送モードが、前記受信用アンテナの本数を指定することが好ましい。

【0013】

また、本発明の第1の特徴において、前記伝送モードが、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに独立な信号を送る伝送モードと、利用可能な全ての前記送信用アンテナから互いに従属な信号を送る伝送モードとを含むことが好ましい。

【0014】

また、本発明の第1の特徴において、前記伝送モードが、前記送信信号の変調多値数又は前記送信信号の符号化率の少なくとも一つを指定することが好ましい。

【0015】

また、本発明の第1の特徴において、前記通信容量推定手段が、前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（S I N R）を算出するS I N R算出手段を有し、前記通信容量推定手段が、前記S I N R算出手段によって算出された前記S I N Rに基づいて前記伝送モード毎の通信容量を推定することが好ましい。

【0016】

また、本発明の第1の特徴において、前記通信容量推定手段が、前記伝搬路推定値を用いて、前記伝搬路における空間相関値を算出する空間相関値算出手段と、前記受信機における受信信号の信号電力対雑音電力比（S N R）を算出するS N R算出手段と、前記空間相関値と前記S N Rとを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定する容量決定手段とを有することが好ましい。

【0017】

また、本発明の第1の特徴において、前記容量決定手段が、複数の送信用アンテナを用いる伝送モードでは、前記空間相関値と前記S N Rとを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定し、1本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードでは、前記S N Rのみを用いて前記伝送モード毎の通信容量を決定することが好ましい。

【0018】

また、本発明の第1の特徴において、前記空間相関値算出手段が、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナの全ての組み合わせにおける空間相関値の最大値又は平均値を、前記空間相関値として算出することが好ましい。

【0019】

また、本発明の第1の特徴において、前記伝送モード決定手段により決定された前記伝送モードを、前記送信信号生成手段に通知する通知手段を有することが好ましい。

【0020】

また、本発明の第1の特徴において、前記通信容量推定手段が、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定すると共に、該伝送モード毎の通信容量が最大となる電力分配値を計算し、前記伝送モード決定手段は、推定された前記伝送モード毎の前記通信容量及び前記電力分配値に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定し、前記送信信号生成手段は、決定された前記伝送モード及び前記電力分配値に応じて前記送信信号を生成することが好ましい。

10

20

30

40

50

【0021】

また、本発明の第1の特徴において、前記通信容量推定手段が、前記伝搬路推定値を用いて、前記受信機における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（S I N R）を算出するS I N R算出手段と、算出された前記S I N Rを用いて前記伝送モード毎の通信容量が最大となる前記電力分配値を計算する電力分配値計算手段とを具備することが好ましい。

【0022】

かかる発明によれば、送信用アンテナ及び受信用アンテナの組み合わせにより形成されるM I M O伝搬路における伝送モード毎の伝搬路推定値（相関値、信号電力対干渉電力・雑音電力（以下、S I N R）、信号電力対雑音電力値（以下、S N R）等の伝搬路の状態）を推定し、推定した伝搬路推定値を用いて推定した伝送モード毎の通信容量に応じて適切な伝送モードを選択することができる。

10

【0023】

したがって、かかる発明によれば、送信機と受信機との間のM I M O伝搬路の状態を把握し、当該M I M O伝搬路の状態に適した信号伝送を行うことにより、当該M I M O伝搬路の通信容量の大幅な劣化を回避し、常に高い通信容量を得ることができる。この結果、かかる発明によれば、1本の送信用アンテナを用い、M I M O伝搬路のS N Rに応じて符号化率や変調多値数を適応的に設定する既存技術である適応変復調技術と比して、高い通信容量を得ることができる。

【0024】

また、かかる発明によれば、受信機において伝送モードの決定を行い、決定した伝送モードを送信機に通知するなど、複数の装置を協働させてM I M O伝搬路の設定を行うことができるため、システムの多様化を図ることができる。

20

【0025】

本発明の第2の特徴は、送信用アンテナを有する送信機から受信用アンテナを有する受信機に信号伝送を行う信号伝送方法であって、前記信号伝送に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する工程Aと、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する工程Bと、推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する工程Cと、決定された前記伝送モードに応じて、伝送すべき送信信号を生成する工程Dとを有することを要旨とする。

30

【0026】

本発明の第3の特徴は、受信用アンテナを有する受信機に送信用アンテナを介して送信信号を送信する送信機であって、使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段と、決定された前記伝送モードに応じて、前記送信信号を生成する送信信号生成手段とを備えることを要旨とする。

【0027】

本発明の第4の特徴は、受信用アンテナを有する受信機に送信用アンテナを介して送信信号を送信する送信機であって、前記受信機が、前記送信信号の送信に使用する前記送信用アンテナを指定する伝送モード毎に前記送信用アンテナと前記受信用アンテナとの間の伝搬路の状態を示す伝搬路推定値を推定する伝搬路推定手段と、推定された前記伝搬路推定値から前記伝送モード毎の通信容量を推定する通信容量推定手段と、推定された前記伝送モード毎の通信容量に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する伝送モード決定手段とを具備し、前記受信機の伝送モード決定手段によって決定された前記伝送モードを取得し、取得した前記伝送モードに応じて前記送信信号を生成する送信信号生成手段を備えることを要旨とする。

40

【0028】

50

【発明の実施の形態】

(本発明の第1の実施形態)

図1乃至図4を参照して、本発明の第1の実施形態について説明する。図1は、本実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【0029】

図1に示すように、本実施形態に係る信号伝送システムは、送信用アンテナ#1乃至#Nを有する第1の信号伝送装置(送信機)10から受信用アンテナ#1乃至#Mを有する第2の信号伝送装置(受信機)20に信号伝送を行うものである。

【0030】

本実施形態に係る信号伝送システムは、第2の信号伝送装置20によって決定された伝送モードに基づいて、第1の信号伝送装置10と第2の信号伝送装置20との間で形成されるMIMO伝搬経路を介して信号伝送を行う。なお、本実施形態では、第1の信号伝送装置10が送信機となり、第2の信号伝送装置20が受信機となった場合を例に説明する。

【0031】

具体的に、本実施形態に係る信号伝送システムは、図1に示すように、伝搬路状態推定手段1と、通信容量推定手段2と、伝送モード決定手段3と、伝送モードに応じた送信信号生成手段4と、各送信用アンテナ毎に設けられた変調手段5と、信号検出手段6とを具備する。

【0032】

伝搬路状態推定手段1は、信号伝送に使用する送信用アンテナを指定する伝送モード毎に、送信用アンテナ#1乃至#Nと受信用アンテナ#1乃至#Mとの間のMIMO伝搬路の状態を示す伝搬路推定値(各MIMO伝搬路における信号の位相や振幅、受信用アンテナに付加される雑音電力や干渉電力等)を推定するモジュールである。本実施形態では、伝搬路状態推定手段1は、第2の信号伝送装置20に設けられている。

【0033】

伝搬路状態推定手段1は、ある一定時間に、各送信用アンテナから、第2の信号伝送装置20において既知なパイロット信号を受信することで、伝搬路推定値を推定する。なお、伝送モードについては、後述する。

【0034】

通信容量推定手段2は、伝搬路状態推定手段1から入力された伝搬路推定値に基づいて、伝送モード毎の通信容量を決定するモジュールである。本実施形態では、通信容量推定手段2は、第2の信号伝送装置20に設けられている。

【0035】

具体的には、通信容量推定手段2は、図2に示すように、SINR推定手段21-1乃至21-Wと、容量決定手段22-1乃至22-Wとにより構成される。

【0036】

SINR推定手段21は、伝搬路状態推定手段1から入力された伝搬路推定値を用いて、各伝送モード(1乃至W)について、第2の信号伝送装置20における受信処理後の受信信号のSINRを推定するモジュールである。

【0037】

例えば、SINR推定手段21は、MMSE(出力誤差最小基準)フィルタで信号の受信を行う場合、入力された伝搬路推定値よりMMSEフィルタ係数を算出し、算出されたMMSEフィルタ係数及び入力された伝搬路推定値を用いてSINRを算出する。

【0038】

また、SINR推定手段21は、空間多重送信法を用いる伝送モードにおいては、空間多重されている複数の信号を検出するため、検出する信号毎にフィルタを求める。この結果、SINRは、当該複数の信号の分だけ算出される。

【0039】

容量決定手段22は、SINR推定手段21により推定されたSINRに基づいて伝送モード毎の通信容量を推定するモジュールである。

10

20

30

40

50

【0040】

例えば、容量決定手段22は、SINR推定手段21により推定されたSINRに基づいて伝送モード毎のフレーム誤り率FERを算出し、算出したフレーム誤り率FERと変調多値数Pとを用いて「 $(1 - FER) \times P$ 」を算出することによって伝送モード毎の通信容量を推定することができる。

【0041】

また、容量決定手段22は、空間多重送信法を用いる場合は、多重されている信号毎の通信容量を個別に算出し、算出した通信容量を合計することで空間多重送信法における通信容量を推定することができる。

【0042】

伝送モード決定手段3は、SINR推定手段21により推定された伝送モード毎の通信容量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定するモジュールである。本実施形態では、伝送モード決定手段3は、第2の信号伝送装置20に設けられている。伝送モード決定手段3は、決定した伝送モードを第1の信号伝送装置10の送信信号生成手段4に出力する。

【0043】

送信信号生成手段4は、伝送モード決定手段3により決定された伝送モードに応じて、伝送すべき送信信号を生成するモジュールである。

【0044】

図3は、送信信号生成手段4の構成及び動作を示す説明図である。本実施形態では、図3に示すように、送信信号生成手段4は、分配機41と、符号機42及び43とから構成されている。

【0045】

分配機41は、伝送モード決定手段3から送信された伝送モードを示す伝送モード情報を取得し、取得した伝送モードに基づいて送信信号（入力）を分配するモジュールである。

【0046】

伝送モード1の場合、分配機41は、図3（a）に示すように、入力1系列を2系列に分割する直列並列変換器として機能する。一方、伝送モード2乃至5の場合、分配機41は、図3（b）又は（c）に示すように、送信用アンテナ#1又は#2を選択する選択器として機能する。

【0047】

本実施形態では、符号機42は、アンテナ#1を介して送信する送信信号用に設けられており、符号機43は、アンテナ#2を介して送信する送信信号用に設けられている。

【0048】

変調手段5は、伝送モード毎に定められた変調多値数Pに基づいて、各送信用アンテナ#1乃至#Nにより送信される送信信号を変調するモジュールである。

【0049】

信号検出手段6は、第2の信号伝送装置20で受信された信号から、必要な信号を検出して復調するモジュールである。

【0050】

表1乃至3を参照して、上述の伝送モードの例を説明する。表1に、伝送モードの第1の例の内容を示し、表2に、伝送モードの第2の例の内容を示し、表3に、伝送モードの第3の例の内容を示す。

【0051】

【表1】

10

20

30

40

伝送モード	アンテナ番号	変調多値数
1	#1, #2 (の2本)	QPSK
2	#1 (のみ)	QPSK
3	#2 (のみ)	QPSK
4	#1 (のみ)	16QAM
5	#2 (のみ)	16QAM

伝送モードの第1の例では、2本の送信用アンテナ#1及び#2について、5種類の伝送モード1乃至5が設けられている。各伝送モード1乃至5は、第1の信号伝送装置10が使用する送信用アンテナの番号及び変調多値数を指定する。

【0052】

表1において、伝送モード1は、送信用アンテナ#1及び#2を使用して空間多重を行い、各送信用アンテナ#1又は#2においてQPSK変調を用いるモードである。

【0053】

また、伝送モード2及び3は、送信用アンテナ#1又は#2のみを使用して単一アンテナ送信を行うものであり、各送信用アンテナ#1又は#2においてQPSK変調を用いるモードである。

【0054】

また、伝送モード4及び5は、送信用アンテナ#1又は#2のみを使用して単一アンテナ送信を行うものであり、各送信用アンテナ#1又は#2において16QAM変調を用いるモードである。

【0055】

なお、本実施形態において、各伝送モードの送信電力の総和は、一定に保つものとする。すなわち、2本の送信用アンテナ#1及び#2を使用して空間多重を行う場合、送信用アンテナ1本あたりの送信電力は、単一アンテナ送信を行う場合の送信用アンテナ1本あたりの送信電力の半分となる。

【0056】

なお、送信用アンテナの本数によって、種々の内容の伝送モードを定義することができる。

【0057】

例えば、3本の送信用アンテナ#1乃至#3を用いる信号伝送システムにおいては、全てのアンテナ#1乃至#3を使用して空間多重を行う伝送モードや、2本のアンテナ#1及び#3を使用して空間多重を行う伝送モードや、2本のアンテナ#2及び#3を使用して空間多重を行う伝送モード等を定義することができる。

【0058】

また、1本のアンテナ#3のみを使用して単一アンテナ送信を行う伝送モード等を定義することができる。さらに、複数の符号化率や変調多値数を考慮すれば、さらに多くの伝送モードを定義することができる。

【0059】

なお、第1の例では、伝送モードの要素として送信用アンテナの本数を指定しているが、受信用アンテナの本数を指定することも可能である。すなわち、受信用アンテナの本数を減らしても、受信電力が十分得られるようなMIMO伝搬路においては、受信用アンテナの本数を減らして受信機の消費電力を低減することができる。

【0060】

【表2】

20

30

40

50

伝送モード	送信方法 (アンテナ本数)	変調多値数
1	空間多重 (2本)	QPSK
2	時空間ブロック 符号化 (2本)	8PSK

伝送モードの第2の例では、2本の送信アンテナ#1及び#2を使用する2つの伝送モードが設けられている。第2の例における伝送モード1と伝送モード2とでは、2本の送信アンテナ#1及び#2の利用の仕方が異なる。

【0061】

表2において、伝送モード1は、2本の送信用アンテナ#1及び#2の各々から、互いに独立な信号を送信する空間多重送信法を用いるものである。

【0062】

一方、伝送モード2は、時空間ブロック符号化を用いて、2本の送信用アンテナ#1及び#2の各々から、互いに従属な信号を送信する送信方法である。時空間ブロック符号化の詳細は、上述の非特許文献1に示されている。

【0063】

【表3】

伝送モード	送信方法 (アンテナ本数)	変調多値数
1	空間多重 (2本)	QPSK
2	送信ビーム フォーミング (2本)	16QAM

伝送モードの第3の例では、2本の送信アンテナ#1及び#2を使用する2つの伝送モードが設けられている。第3の例における伝送モード1と伝送モード2とでは、第2の例の場合と同様に、2本の送信用アンテナ#1及び#2の利用の仕方が異なる。表3に示すように、第3の例における伝送モード2は、2本の送信用アンテナ#1及び#2を使用して、送信ビームフォーミングを用いるものである。

【0064】

図4を参照して、上述の構成を有する信号伝送システムを用いた信号伝送方法について説明する。図4は、本実施形態に係る信号伝送方法の手順を示すフローチャートである。

【0065】

ステップS101において、第1の信号伝送装置10と第2の信号伝送装置20との間の通信が開始されると、ステップS102において、第2の信号伝送装置20に設けられている伝搬路状態推定手段1が、伝搬路推定値を推定する。伝搬路状態推定手段1は、推定した伝搬路推定値を、通信容量推定手段2に出力する。

【0066】

通信容量推定手段2が、ステップS103において、受信処理後の受信信号の伝送モード毎のSINRを推定するとともに、ステップS104において、伝搬路状態推定手段1から入力された伝搬路推定値から伝送モード毎の通信容量を推定する。通信容量推定手段2は、伝送モード毎の通信容量を伝送モード決定手段3に出力する。

【0067】

ステップS105において、伝送モード決定手段3が、推定された伝送モード毎の通信容

量に基づいて、所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する。伝送モード決定手段3は、決定した伝送モードを、信号検出手段6及び第1の信号伝送装置10の送信信号生成手段4に送出する。

【0068】

ステップS106において、送信信号生成手段4は、送出された伝送モードに基づいて送信信号を生成し、変調手段5からMIMO伝搬路を経て第2の信号伝送装置20に送信信号を送信する。また、第2の信号伝送装置20の信号検出手段6は、伝送モード決定手段3によって決定された伝送モードに従って、信号の検出及び復調を行う。

【0069】

(本発明の第1の変更例)

なお、本発明は、上述した第1の実施形態に限定されるものではなく、以下のような変更を加えることができる。

【0070】

すなわち、上述の第1の実施形態において、伝搬路状態推定手段1と通信容量推定手段2と伝送モード決定手段3とは、第2の信号伝送装置(受信機)20に設置されているが、例えば、通信容量推定手段2、伝送モード決定手段3の両方、若しくはいずれかを第1の信号伝送装置(送信機)10に設置してもよい。

【0071】

(本発明の第2の変更例)

また、本発明は、上述の第1の実施形態や第1の変更例に限定されるものではなく、例えば、図5に示すように、通信容量推定手段2の構成を変更してもよい。

【0072】

図5は、複数のアンテナを用いた信号伝送方式として、空間多重送信法及び単一アンテナ送信法を用いることが可能な通信容量推定手段4を示している。

【0073】

図5に示すように、本変更例において、通信容量推定手段2は、空間相関推定手段23-1乃至23-Wと、信号電力対雑音電力比(SNR)推定手段24-1乃至24-Wと、容量決定手段22-1乃至22-Wとから構成される。

【0074】

本変更例において、空間相関推定手段23は、伝搬路状態推定手段1により推定された伝搬路推定値を用いて、MIMO伝搬路における空間相関値を算出する空間相関値算出手段を構成する。

【0075】

また、信号電力対雑音電力比(SNR)推定手段24は、第2の信号伝送装置(受信機)20における受信信号の信号電力対雑音電力比(SNR)を算出するSNR算出手段を構成する。

【0076】

容量決定手段22-1乃至22-Wは、空間相関推定手段23-1乃至23-Wにより算出された空間相関値と、信号電力対雑音電力比推定手段24-1乃至24-Wにより算出された信号電力対雑音電力比(SNR)とを用いて、各伝送モード(1乃至W)で達成できる通信容量を決定して出力する。

【0077】

以下に、空間相関値推定手段23による空間相関値の算出方法を示す。ここで、 N_s 個の送信用アンテナ#1乃至 N_s 及び M 個の受信用アンテナ#1乃至# M を用いるMIMOシステムを考える。簡単のため、各送信用アンテナと各受信用アンテナとの間は、周波数フラットである(マルチパスがない1つのパス(伝搬路)である)場合を考える。この場合、 m 番目の受信用アンテナ# m における受信信号 r_m は、次式で表される。

【0078】

【数1】

10

20

30

40

$$r_m = \sum_{n=1}^{N_e} h_{nm} \cdot s_n + n_m$$

ここで、 h_{nm} は、 n 番目の送信用アンテナ # n と m 番目の受信用アンテナ # m との間の伝搬路推定値である。 s_n は、 n 番目の送信用アンテナ # n から送信された信号（シンボル）であり、 n_m は、 m 番目の受信用アンテナ # m に付加された雑音である。 $1 \sim M$ 番目の受信用アンテナ # 1 乃至 # M での受信信号をベクトル化すると次式となる。

【 0 0 7 9 】

10

【数 2】

$$\begin{aligned} r &\equiv \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \cdots & r_M \end{bmatrix}^T \\ &= \sum_{n=1}^{N_e} h_n \cdot s_n + n, \end{aligned}$$

ここで、 $h_n = [h_{1n} \cdots h_{Mn}]^T$ は、 n 番目の送信用アンテナ # n から送信される送信信号の空間チャンネルであり、 $n = [n_1 \cdots n_M]^T$ は、雑音ベクトルである。

20

【 0 0 8 0 】

また、同一チャンネル上の 2 つの信号の空間相関値として、文献『D. Tanaka、T. Ohgane 及び Y. Ogawa 著、「Blocking Rate Performance of SDMA with a 3-element Adaptive Array」、Technical Report of IEICE、95 頁乃至 100 頁、RCS 97-252、MW97-197（1998-02）』に定義されている空間相関値が用いられるものとする。

【 0 0 8 1 】

この文献に示された定義を用いれば、 i 番目の送信信号と j 番目の送信信号の空間相関値 $\rho_{i,j}$ は、次式で示される。

30

【 0 0 8 2 】

【数 3】

$$\rho_{i,j} = \frac{h_i^h \cdot h_j}{|h_i| \cdot |h_j|}$$

ここで、空間相関値 $\rho_{i,j}$ は、複素数であるため、当該複素数のノルム値を用いることとする。本変更例においては、かかる空間相関値 $\rho_{i,j}$ を用いて、 N_e 入力の MIMO 伝搬路の空間相関値 ρ_N を定義する。第 1 案は、次式である。

40

【 0 0 8 3 】

【数 4】

$$\begin{aligned} \rho_{Ne} &= \text{Max}(\rho_{ij}) \\ &\quad i, j \in 1, \dots, N_e \\ &\quad i \neq j \end{aligned}$$

つまり、 N_e 個の全ての送信信号のペアの空間相関値のうち最大値を、 N_e 入力の MIMO 伝搬路の空間相関値 ρ_N とする。

【 0 0 8 4 】

第 2 案は、次式である。

【 0 0 8 5 】

【 数 5 】

$$\rho_{Ne} = \text{Ave}(\rho_{ij})$$

$$i, j \in 1, \dots, N_e$$

$$i \neq j$$

つまり、 N_e 個の全ての送信信号のペアの空間相関値の平均値を、 N_e 入力の MIMO 伝搬路の空間相関値 ρ_{Ne} とする。

【 0 0 8 6 】

図 5 に示す空間推定値推定手段 23 は、上式のいずれかを用いて空間相関値を算出する。例えば、4 本の送信用アンテナ # 1 乃至 # 4 及び 4 本の受信用アンテナ # 1 乃至 # 4 を用いる信号伝送システムにおいて、送信用アンテナ # 1, # 2, # 4 を用いる伝送モードが適用されている場合、空間推定値推定手段 23 は、送信用アンテナ # 1, # 2, # 4 及び 4 本の受信用アンテナ # 1 乃至 # 4 で構成される $N_e = 3$ の MIMO 伝搬路の空間相関値 $\rho_{Ne} = 3$ を上式によって算出する。

【 0 0 8 7 】

図 5 に示す信号電力対雑音電力比推定手段 24 は、次式によって信号電力対雑音電力比 SNR を算出する。

【 0 0 8 8 】

【 数 6 】

$$\text{SNR} = \frac{\sum_{n=1}^{N_e} \|h_n\|^2}{\sigma^2}$$

なお、上式において、 σ^2 は、雑音電力である。

【 0 0 8 9 】

単一アンテナ送信を使用する伝送モード ($N_e = 1$) の場合、空間相関値推定手段 23 によって算出される空間相関値 ρ_{Ne} を定義する必要はなく、信号電力対雑音電力比推定手段が SNR を算出するだけでよい。すなわち、単一アンテナ送信を使用する伝送モードの場合、空間相関値算出手段 23 からの出力は、容量決定手段 22 による通信品質の算出において使用されない。

【 0 0 9 0 】

すなわち、容量決定手段 22 は、複数の送信用アンテナを用いる伝送モードでは、空間相関値と SNR とを用いて伝送モード毎の通信容量を決定し、1 本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードでは、SNR のみを用いて伝送モード毎の通信容量を決定する。

【 0 0 9 1 】

送信用アンテナの各々の間にマルチパスが存在する場合は、文献『阿部、藤井、富里著、「周波数選択性 MIMO チャネル信号伝送用ターボ受信機の信号分離指標の検討」、信学技法、2002 年 3 月、37 頁乃至 44 頁』で定義される i 番目の送信信号と j 番目の送信信号の時空間相関値を用いて、上述の方法と同様な方法で、 N_e 入力の MIMO 伝搬路の空間相関値を定義すればよい。

【 0 0 9 2 】

信号検出手段 6 は、伝送モードに応じて、受信信号の受信処理を行う。信号検出手段 6 は、空間多重送信法を使用する伝送モードの場合、非特許文献 1 で示される復調器の構成とすることができる。信号検出手段 6 は、送信ダイバーシチや送信ビームフォーミングを使

用する伝送モード場合も、既存の受信機の構成とすることができる。

【0093】

図6を参照して、上述の構成を有する本変更例に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法について説明する。図6は、本変更例に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法の手順を示すフローチャートである。

【0094】

図6(a)に示すように、ステップS201において、第1の信号伝送装置(送信機)10と第2の信号伝送装置(受信機)20との間の通信が開始されると、ステップS202において、第2の信号伝送装置20に設けられている伝搬路状態推定手段1が、伝搬路推定値を推定する。伝搬路状態推定手段1は、推定した伝搬路推定値を、通信容量推定手段

10

【0095】

第2の信号伝送装置20に設けられている通信容量推定手段2は、ステップS203において、伝送モード毎の空間相関値及びSNRを推定し、ステップS204において、推定した伝送モード毎の空間相関値及びSNRに基づいて伝送モード毎の通信容量を推定し、第2の信号伝送装置20に設けられている伝送モード決定手段3に出力する。

【0096】

図6(b)を参照して、ステップS204における通信容量推定手段2の動作を詳述する。通信容量推定手段2は、ステップS207において、各伝送モードで使用される送信用アンテナの本数を判断する。送信用アンテナを2本以上用いる伝送モードの場合、通信容量推定手段2は、ステップS209において、空間相関値及びSNRに基づいて当該伝送モードの通信容量の推定を行う。一方、1本の送信用アンテナのみを用いる伝送モードの場合、通信容量推定手段2は、ステップS208において、受信信号対雑音電力比のみに基づいて当該伝送モードの通信容量の推定を行う。

20

【0097】

ステップS205において、伝送モード決定手段3が、推定された伝送モード毎の通信容量に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する。伝送モード決定手段3は、決定した伝送モードを、信号検出手段6及び第1の信号伝送装置10の送信信号生成手段4に送出する。

【0098】

送信信号生成手段4は、受信した伝送モードに基づいて送信信号を生成し、変調手段5及びMIMO伝搬路を経て第2の信号伝送装置20に当該送信信号を送信する。

30

【0099】

ステップS206において、第2の信号伝送装置20に設けられた信号検出手段6は、伝送モード決定手段3により決定された伝送モードに従って、信号の検出及び復調を行う。

【0100】

(本発明の第2の実施形態)

図7を参照して、本発明の第2の実施形態について説明する。図7は、本実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。本実施形態に係る信号伝送システムは、上述した第1の実施形態に係る信号伝送システムと比して、伝搬路状態推定手段1と通信容量推定手段2と伝送モード決定手段3とを、第1の信号伝送装置(送信機)10に設置している点で異なる。

40

【0101】

詳述すると、図7に示すように、本実施形態に係る信号伝送システムにあっても、上述した第1の実施形態に係る信号伝送システムと同様に、第1の信号伝送装置10と第2の信号伝送装置20との間で形成されるMIMO伝搬経路を介して信号の伝送を行う。なお、本実施形態においても、第1の信号伝送装置10が送信機となり、第2の信号伝送装置20が受信機となる場合を例に説明する。

【0102】

具体的には、本実施形態に係る伝送システムは、図7に示すように、伝搬路状態推定手段

50

1 と、通信容量推定手段 2 と、伝送モード決定手段 3 と、伝送モードに応じた送信信号生成手段 4 と、送信用アンテナ # 1 乃至 # N 毎に設けられた変調手段 5 1 - 1 乃至 5 1 - N と、信号検出手段 6 とを具備している。

【0103】

本実施形態では、第 1 の信号伝送装置 10 に、伝搬路状態推定手段 1 と通信容量推定手段 2 と伝送モード決定手段 3 と送信信号生成手段 4 と変調手段 5 とが設けられており、第 2 の信号伝送装置 20 に、信号検出手段 6 が設けられている。

【0104】

第 2 の実施形態に係る信号伝送システムによれば、TDD 方式のように、送信機 10 と受信機 20 で同一の周波数を用いる場合等には、送信用の伝搬路状態と受信用の伝搬路状態がほぼ同一となるため、受信信号から求めた伝搬路のパラメータを用いて、送信信号を送信する際に使用する伝送モードを決めることができる。かかる場合に、本実施形態に係る信号伝送システムのように、伝搬路推定値推定手段を送信機 10 に設置することが可能となる。

10

【0105】

(本発明に係る第 3 の実施形態)

図 8 及び図 9 を参照して、本発明の第 3 の実施形態について説明する。図 8 は、本実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【0106】

図 8 に示すように、本実施形態に係る信号伝送システムの構成は、上述の第 1 の実施形態に係る信号伝送システムの構成に加えて、伝送モード決定手段 3 により決定された伝送モードを送信信号生成手段 4 に通知する通知手段として、第 1 の信号伝送装置 10 に設けられた受信手段 7 と第 2 の信号伝送装置 20 に設けられた送信手段 8 とを具備する。

20

【0107】

すなわち、第 2 の信号伝送装置 20 に設けられた送信手段 8 は、伝送モード決定手段 3 により決定された伝送モードを、第 1 の信号伝送装置 10 にフィードバックするために、当該伝送モードを示す伝送モード情報をビット情報にして第 1 の信号伝送装置 10 に送信するモジュールである。また、第 1 の信号伝送装置 10 に設けられた受信手段 7 は、第 2 の信号伝送装置 20 よりフィードバックされた伝送モード情報を受信するモジュールである。

30

【0108】

上り通信と下り通信で同一周波数を用いるような信号伝送システムであれば、上り通信において推定された伝搬路パラメータ（伝搬路推定値）を下り通信で用いることができる。しかしながら、上り通信と下り通信で異なる周波数を用いるような信号伝送システムであれば、受信機 20 で伝搬路パラメータを推定して、当該伝搬路パラメータを送信機 10 にフィードバックする必要がある。かかる場合、MIMO 伝搬路推定値（送信用アンテナと受信用アンテナとの間の振幅情報や位相情報等）の全てをフィードバックすると、当該フィードバックによる帯域損失が大きくなる。

【0109】

したがって、本実施形態では、伝搬路推定値そのものをフィードバックするのではなく、第 2 の信号伝送装置 20 で伝送モードの決定を行い、決定された伝送モードを第 1 の信号伝送装置 10 にフィードバックする。なお、表 1 のような 5 つの伝送モードが使用される場合、フィードバックする情報量は、3 ビットとなる。

40

【0110】

このように、決定された伝送モードをビット情報にしてフィードバックすれば、伝送路推定値（パスの数だけの振幅情報や位相情報等）をフィードバックする信号伝送システムに比べて、大幅にフィードバックする情報量を削減することができる。

【0111】

また、送信手段 8 は、決定された伝送モードが前回送信されたフレームにおける伝送モードと同一である場合に「変更なし」を意味するビット情報をフィードバックする用に構成

50

されていてもよいし、決定された伝送モードが前回送信されたフレームにおける伝送モードから変更されている場合のみビット情報をフィードバックすることように構成してもよい。このように構成することで、更にフィードバックする情報量の削減が可能となる。

【0112】

本実施形態に係る伝送システムは、具体的には、図8に示すように、伝搬路状態推定手段1と、通信容量推定手段2と、伝送モード決定手段3と、送信信号生成手段4と、送信用アンテナ#1乃至#N毎に設けられた変調手段5₁₋₁乃至5_{1-N}と、信号検出手段6と、受信手段7と、送信手段8とを有している。

【0113】

なお、本実施形態では、第1の信号伝送装置10に、送信信号生成手段4と変調手段5と受信手段7とが設けられており、第2の信号伝送装置20に、伝搬路状態推定手段1と通信容量推定手段2と伝送モード決定手段3と信号検出手段6と送信手段8とが設けられている。

10

【0114】

図8を参照して、本実施形態に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法を説明する。図8は、本実施形態に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法を示すフローチャートである。

【0115】

ステップS301において、第1の信号伝送装置（送信機）10と第2の信号伝送装置（受信機）20との間の通信が開始されると、ステップS302において、伝搬路状態推定手段1が、伝送モード毎の伝搬路推定値を推定する。伝搬路状態推定手段1は、推定した伝搬路推定値を通信容量推定手段2に出力する。

20

【0116】

ステップS303において、通信容量推定手段2は、伝送モード毎のSINRや空間相関値やSNRを推定する。ステップS304において、通信容量推定手段2は、推定された伝送モード毎のSINRや空間相関値やSNR等に基づいて、伝搬路状態推定手段1により入力された伝搬路推定値から伝送モード毎の通信容量を推定して伝送モード決定手段3に出力する。

【0117】

ステップS304において、伝送モード決定手段3は、推定された伝送モード毎の通信容量に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する。ステップS306において、決定された伝送モードは、信号検出手段6に出力されるとともに、送信手段8及び受信手段7を介したフィードバックチャネルによって第1の信号伝送装置10の送信信号生成手段4に通知される。

30

【0118】

ステップS307において、送出された伝送モードは、第1の信号伝送装置10の受信手段7により受信され、送信信号生成手段4が、受信した伝送モードに基づいて送信信号を生成し、変調手段5及びMIMO伝搬路を経て第2の信号伝送装置20に信号を送信する。

【0119】

ステップS308において、第2の信号伝送装置20の信号検出手段6は、伝送モード決定手段3により決定された伝送モードに従って、信号の検出及び復調を行う。

40

【0120】

（本発明の効果のシミュレーション結果）

上述の実施形態による効果を、計算機を用いて行ったシミュレーションの結果として示す。なお、本シミュレーションでは、空間相関値として「数4」で定義される式を用い、シミュレーションパラメータとして「表4」に示すものを用いた。

【0121】

【表4】

50

送受信アンテナ数	送信用アンテナ4本、受信用アンテナ4本
伝送モード	表5参照
符号器	畳み込み符号（符号化率1/2、拘束長3）
伝搬路	周波数フラット、文献[5]における相関MIMO伝搬路モデル
インターリーバ	ランダムインターリーバ
伝搬路推定器	RLS(再帰的最小2乗誤差最小基準)法、忘却係数0.9999
信号検出器	文献[6]におけるSC/MMSEターボ受信機

なお、表4において、文献[5]は、『D. Chizhik 等著、「Effect of Antenna Separation on the Capacity of BLAST in Correlated Channels」、IEEE Commn、Letter、vol. 4、No. 11、337頁、2000年11月』を示し、文献[6]は、『阿部他著、「周波数選択性MIMOチャネルにおける時空ターボ等化器」、信学技法、RCS2000-256、75頁乃至80頁』を示す。

【0122】

また、本シミュレーションで用いられる伝送モードを、表5に示す。

20

【0123】

【表5】

伝送モード	アンテナ番号	変調多値数	符号化率
1	#1, #2, #3, #4	QPSK	1/2
2	#1	64QAM	1/2
3	#1	16QAM	1/2
4	#2	64QAM	1/2
5	#2	16QAM	1/2
6	#3	64QAM	1/2
7	#3	16QAM	1/2
8	#4	64QAM	1/2
9	#4	16QAM	1/2

なお、表5に示す伝送モードは、4本の送信用アンテナ#1乃至#4を全て用いる伝送モードと、4本の送信用アンテナ#1乃至#4のうちのどれか1本を用いる8個の伝送モードとの合計9個の伝送モードを含む。

40

【0124】

また、本シミュレーションで用いた信号伝送システムの構成は、上述した第1の実施形態の第2の変更例に係る信号伝送システムの構成と同様とした。

【0125】

図10及び図11に、容量決定手段22のシミュレーションを行った結果を示す。

【0126】

図10は、本シミュレーションにおいて、伝送モード1を用いた場合の空間相関値に対する通信容量の特性を示す。図10には、上述の「数6」に示す式によって算出されるMIMO伝搬路の瞬時のSNR（dB）をパラメータとする複数の曲線が表示されている。なお、図10では、受信フレーム誤り率（FER）と符号化率Rと変調多値数Pとを用いた

50

計算結果 $(1 - FER) \times P \times R$ を、通信容量 (bps/Hz) としている。

【0127】

図10に示すように、伝送モード1のみを用いた信号伝送システムでは、空間相関値が高い場合、通信容量が大幅に劣化していることが判る。つまり、本実施形態における空間相関値は、空間多重送信法の伝搬路の相関に対する特性劣化を見積もる有効な指標であるといえる。

【0128】

また、図10に示すように、伝搬路の瞬時のSNR及び空間相関値から通信容量を推定できるため、容量決定手段22は、図10のグラフを用いて、通信容量を推定するように構成することが可能である。

10

【0129】

図11は、本シミュレーションにおいて、単一アンテナ送信（1本の送信用アンテナと4本の受信用アンテナを用いた送信）を行う伝送モードの場合の瞬時のSNRに対する通信容量の特性を示す。単一アンテナ送信の場合は、空間相関値が不要であるので、図11には、変調多値数をパラメータとした2本の曲線が表示されている。

【0130】

図11から判るように、瞬時のSNR及び変調多値数に対応する通信容量は、図11に示したグラフより推定することができる。

【0131】

図12は、空間相関値とSNRによって適応的に複数の伝送モードを用いる信号伝送システムにおけるシミュレーション結果を示す。具体的には、図12は、伝搬路の瞬時のSNRが12dBの場合と16dBの場合のシミュレーション結果を示している。

20

【0132】

図12において、右下がりの曲線（太い点線）は、空間多重送信法を使用する伝送モード（伝送モード1）における空間相関値に対する通信容量の特性を示す。一方、x軸にほぼ平行な直線（細い点線）は、単一アンテナ送信を使用する伝送モード（伝送モード2～9）における空間相関値に対する通信容量の特性を示す。

【0133】

また、実線は、本発明の一例のように、伝送モード1乃至9の中から通信容量の一番高い伝送モードを選択した場合の空間相関値に対する通信容量の特性を示す。この場合のSNRは、4本の送信用アンテナと4本の受信用アンテナとの間に形成されるMIMO伝搬路のSNRである。

30

【0134】

図12に示すように、本実施形態に係る信号伝送システム及び信号伝送方法は、空間相関値が低い場合は、空間多重送信法を使用する伝送モード1を用いて、より高い通信容量を達成し、空間相関値が高い場合は、単一アンテナ送信を使用する伝送モード2乃至9のいずれかを用いて、より高い通信容量を達成することによって、伝搬路の相関が高い場合の空間多重送信法（伝送モード1）における大幅な特性劣化を補償していることが判る。

【0135】

以上のことから、本発明に係る信号伝送システム及び信号伝送方法を用いることにより、伝搬路の相関が高い場合の空間多重送信法の特性劣化を改善できることが判る。

40

【0136】

（本発明の第4の実施形態）

図13乃至図16を参照して、本発明の第4の実施形態について説明する。図13は、本実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【0137】

本実施形態に係る信号伝送システムは、上述した第1の実施形態に係る信号伝送システムと比して、第1の信号伝送装置10に増幅制御手段9を設けている点と、通信容量推定手段2及び伝送モード決定手段3の機能の点で異なる。

【0138】

50

本実施形態における通信容量推定手段2は、伝搬路状態推定手段1により推定された伝搬路推定値から、伝送モード毎の通信容量を推定すると共に、当該伝送モード毎の通信容量が最大となる電力分配値を計算するモジュールである。

【0139】

具体的には、通信容量推定手段2は、図14に示すように、SINR推定手段21-1乃至21-Wと、電力分配値計算手段25-1乃至25-Wと、容量決定手段22-1乃至22-Wとを具備している。

【0140】

SINR推定手段21は、伝搬路状態推定手段1により推定された伝搬路推定値を用いて、第2の信号伝送装置（受信機）20における受信信号の信号電力対干渉電力・雑音電力比（SINR）を算出するモジュールである。

10

【0141】

電力分配値計算手段25は、SINR推定手段21により算出されたSINRを用いて、伝送モード毎の通信容量が最大となる電力分配値を計算するモジュールである。また、電力分配値計算手段25は、伝送モード決定手段3によって決定された伝送モードの電力分配値を、フィードバックチャネル等を介して、信号検出手段6及び第1の信号伝送装置（送信機）10の増幅制御手段9に送信する。

【0142】

電力分配値計算手段25は、伝送モード決定手段3から送信された伝送モード情報に応じて、所定の伝送モードについての電力分配値のみを計算するように構成されていてもよい。

20

【0143】

容量決定手段22は、SINR推定手段21によって推定されたSINR及び電力分配値計算手段25によって計算された電力分配値に基づいて、伝送モード毎の通信容量を決定するモジュールである。

【0144】

伝送モード決定手段3は、通信容量推定手段2により推定された伝送モード毎の通信容量及び電力分配値に基づいて、所望の通信容量を満たす最適な伝送モードを決定するモジュールである。

【0145】

増幅制御手段9は、通信容量推定手段2から送信された電力分配値に応じて、各送信用アンテナ#1乃至#Nの送信信号の送信電力を制御（増幅）するモジュールである。

30

【0146】

増幅制御手段9は、各送信用アンテナ#1乃至#Nに対して、独立に送信信号の送信電力を制御するように構成されていてもよい。

【0147】

また、増幅制御手段9が、独立した複数の増幅器によって構成されていると、各送信用アンテナ#1乃至#Nの送信電力の不均衡性により、非効率に送信信号の増幅がなされる可能性がある。したがって、かかる問題点を回避するために、増幅制御手段9は、マルチポート増幅器によって構成されていてもよい。

40

【0148】

従来の信号伝送システムでは、各送信用アンテナ#1乃至#Nが、等電力で送信信号を送信するため、通信容量の観点からは最適ではないという問題点があった。この点、本実施形態に係る信号伝送システムによれば、増幅制御手段9によって送信信号の送信電力を最適に制御することができ、従来の問題点を解消することができる。

【0149】

以下、電力分配値計算手段25が電力分配値を計算する方法の一例を示す。

【0150】

電力分配値として、N個の係数（ $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ ）を用いる。ここで、各送信用アンテナ#1乃至#Nによる総送信電力 P_t が一定であるため、 $N = \lambda_1 + \dots + \lambda_N$ の関係が成立

50

する。

【0151】

また、伝送モード毎の通信容量Cを推定するための式は、以下の通りである。

【0152】

【数7】

$$C = \sum_{n=1}^N \log_2 (1 + \lambda_n \cdot \text{SINR}_n) \quad \text{— (1)}$$

上述の(1)式に対して、通信容量Cが最大になるように、N個の係数 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 。 $\lambda_{n, \text{opti}}$ が決定される。具体的には、式 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 。 $\lambda_{n, \text{opti}} = \arg \max C$ によって、N個の係数 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 。 $\lambda_{n, \text{opti}}$ が決定される。

【0153】

L a r g r a n g e乗数法によって、最適なN個の係数 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 。 $\lambda_{n, \text{opti}}$ は、以下のように求められる。

【0154】

【数8】

$$\lambda_{n, \text{opti}} = 1 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\text{SINR}_i} - \frac{1}{\text{SINR}_n}$$

電力分配値計算手段25は、このようにして求めた最適なN個の係数 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 。 $\lambda_{n, \text{opti}}$ を、電力分配値として、第1の信号伝送装置10の増幅制御手段9及び信号で信号検出手段6に送信する。

【0155】

図15を参照して、本実施形態に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法の動作を説明する。図15は、本実施形態に係る信号伝送システムを用いた信号伝送方法を示すフローチャートである。

【0156】

図15に示すように、ステップS401において、第1の信号伝送装置(送信機)10と第2の信号伝送装置(受信機)20との間の通信が開始されると、ステップS402において、伝搬路状態推定手段1が、伝送モード毎の伝搬路推定値を推定する。伝搬路状態推定手段1は、推定した伝搬路推定値を通信容量推定手段2に出力する。

【0157】

通信容量推定手段2は、ステップS403において、伝送モード毎のSINRを推定すると共に、ステップS404において、推定した伝送モード毎のSINRに基づいて、送信用アンテナ毎の電力分配値を計算する。ステップS405において、通信容量推定手段2は、伝送モード毎のSINR及び送信用アンテナ毎の電力分配値に基づいて、伝送モード毎の推定容量を推定して伝送モード決定手段3に出力する。

【0158】

ステップS406において、伝送モード決定手段3は、推定された伝送モード毎の通信容量及び電力分配値に基づいて所望の通信容量を満たす伝送モードを決定する。

【0159】

ステップS407において、伝送モード決定手段3が、決定した伝送モードを、信号検出手段6にフィードバックするとともに、通信容量推定手段2が、決定された伝送モードに対応する電力分配値を信号検出手段6及び第1の信号伝送装置10の増幅制御手段9にフィードバックする。

【0160】

ステップS408において、増幅制御手段9が、通信容量推定手段2から送信された電力

分配値に基づいて、各送信用アンテナにおける送信信号の送信電力を制御する。

【0161】

ステップS409において、第2の信号伝送装置20の信号検出手段6は、伝送モード決定手段3により決定された伝送モード及び通信容量推定手段によって計算された電力分配値に従って、信号の検出及び復調を行う。

【0162】

本実施形態による効果を、計算機を用いて行ったシミュレーションの結果として示す。なお、本シミュレーションは、以下のような条件の下で行われた。

【0163】

第1に、本シミュレーションは、単一の搬送波が用いられており、単一の受信機20が存在している環境を想定している。第2に、本シミュレーションは、伝搬路に、準静的フラットレイリーフェージング (quasi-static flat Rayleigh fading) が発生する環境を想定している。第3に、フェージングチャネル間の相関の取り方は、3GPP標準の条件に従っている。第4に、通信容量は、100個の送信フレームの時間平均によって算出されている。第5に、4本の送信用アンテナと4本の受信アンテナが使用されており、受信方法は、Zero Forcing (nulling) 方式が用いられている。

10

【0164】

図16に示すように、電力分配値を用いた場合の方が、電力分配値を用いない場合よりも、通信容量が大きいことが分かる。

20

【0165】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、送信用アンテナを有する送信機10から受信アンテナを有する受信機20に信号伝送を行う空間多重送信法を用いた信号伝送システムにおいて、MIMO伝搬路の状態を把握し、把握したMIMO伝搬路の状態に適した信号伝送を行うことにより、MIMO伝搬路の相関が高い場合に通信容量の大幅な劣化を回避して、常に高い通信容量を得ることができ、相関の高いMIMO伝搬路における大幅な特性劣化を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

30

【図2】本発明の第1の実施形態に係る信号伝送システムにおける通信容量推定手段の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る信号伝送システムにおける送信信号生成手段の構成及び動作を示す説明図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る信号伝送システムの動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第1の実施形態の第2の変更例に係る信号伝送システムにおける通信容量推定手段の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第1の実施形態の第2の変更例に係る信号伝送システムの動作を示すフローチャートである。

40

【図7】本発明の第2の実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第3の実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第3の実施形態に係る信号伝送システムの動作を示すフローチャートである。

【図10】本発明の一実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図11】本発明の一実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図12】本発明の一実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

50

【図 1 3】本発明の第 4 の実施形態に係る信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図 1 4】本発明の第 4 の実施形態に係る信号伝送システムにおける通信容量推定手段の構成を示すブロック図である。

【図 1 5】本発明の第 4 の実施形態に係る信号伝送システムの動作を示すフローチャートである。

【図 1 6】本発明の第 4 の実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 1 7】従来の空間多重送信法を使用する信号伝送システムの構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

10

1 … 伝搬路状態推定手段

2 … 通信容量推定手段

3 … 伝送モード決定手段

4 … 送信信号生成手段

5、5 1 … 変調手段

6 … 信号検出手段

7 … 受信手段

8 … 送信手段

9 … 増幅制御手段

1 0 … 第 1 の信号伝送装置（送信機）

20

2 0 … 第 2 の信号伝送装置（受信機）

2 1 … S I N R 推定手段

2 2 … 容量決定手段

2 3 … 空間相関値推定手段

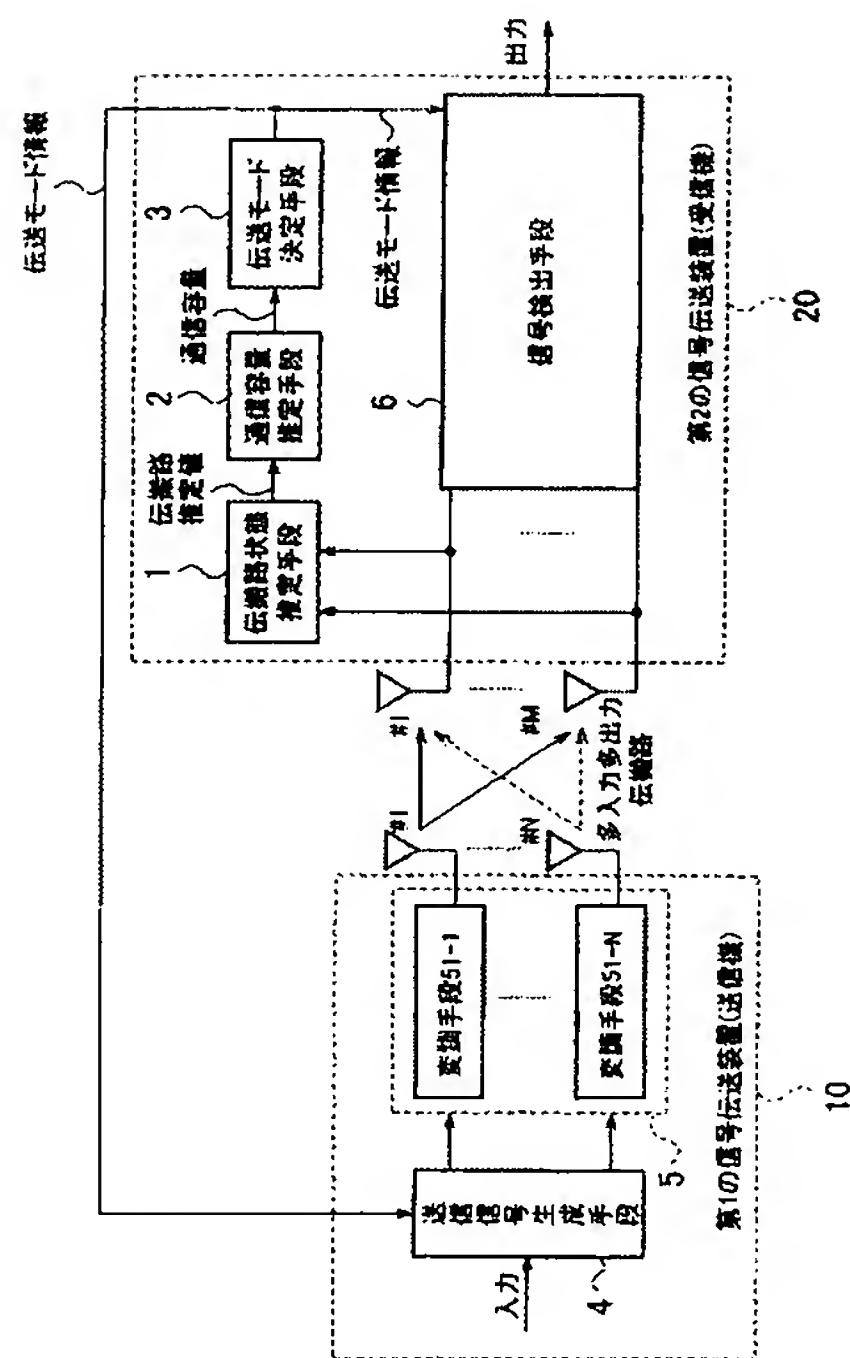
2 4 … 信号電力対雑音電力比（S N R）推定手段

2 5 … 電力分配値計算手段

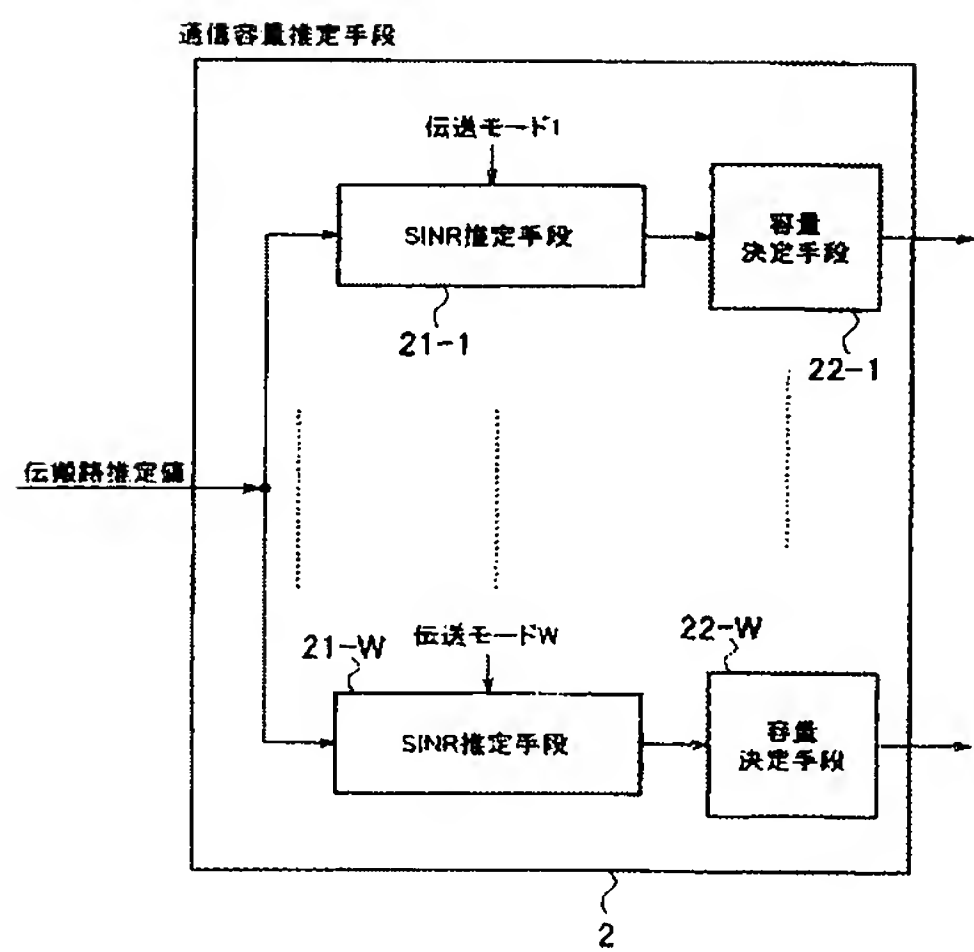
4 1 … 分配機

4 2、4 3 … 符号機

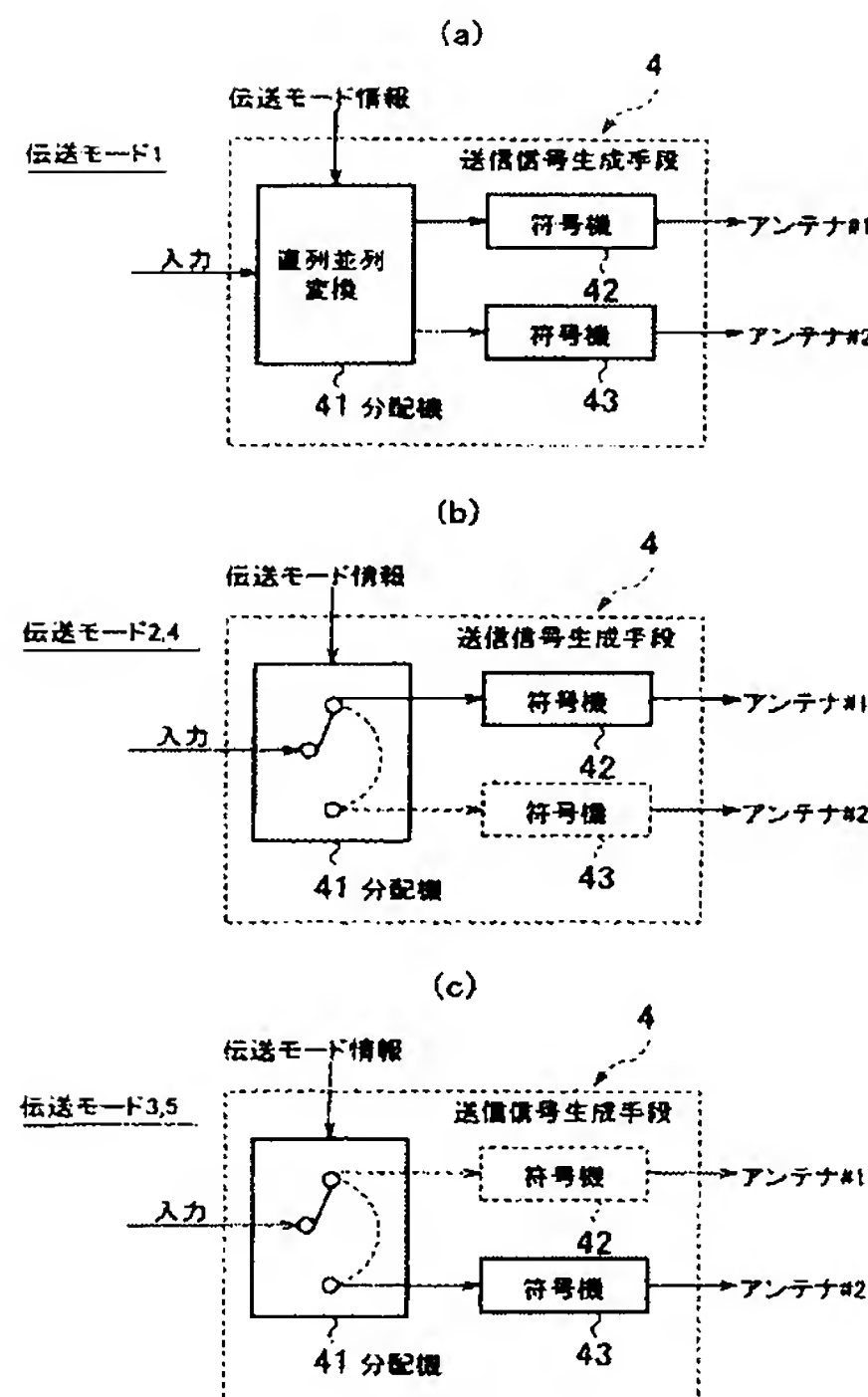
【図1】



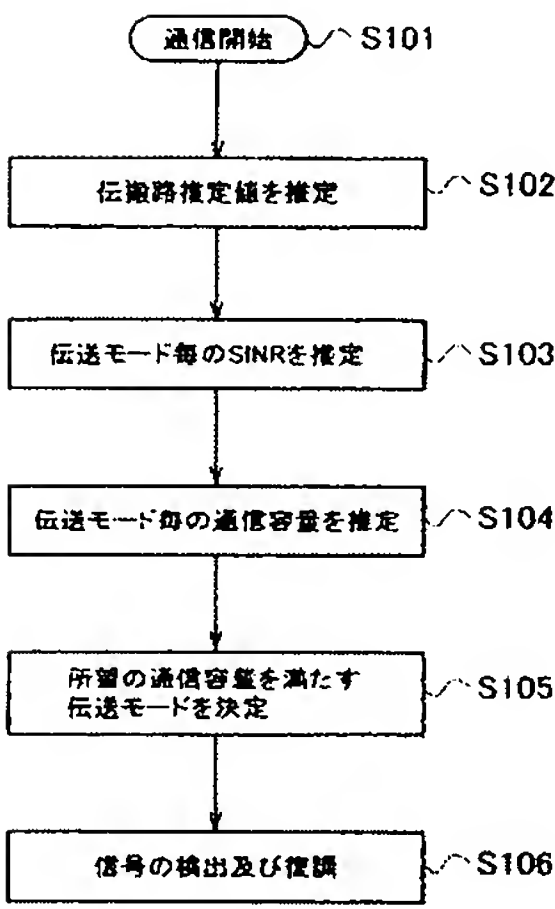
【図2】



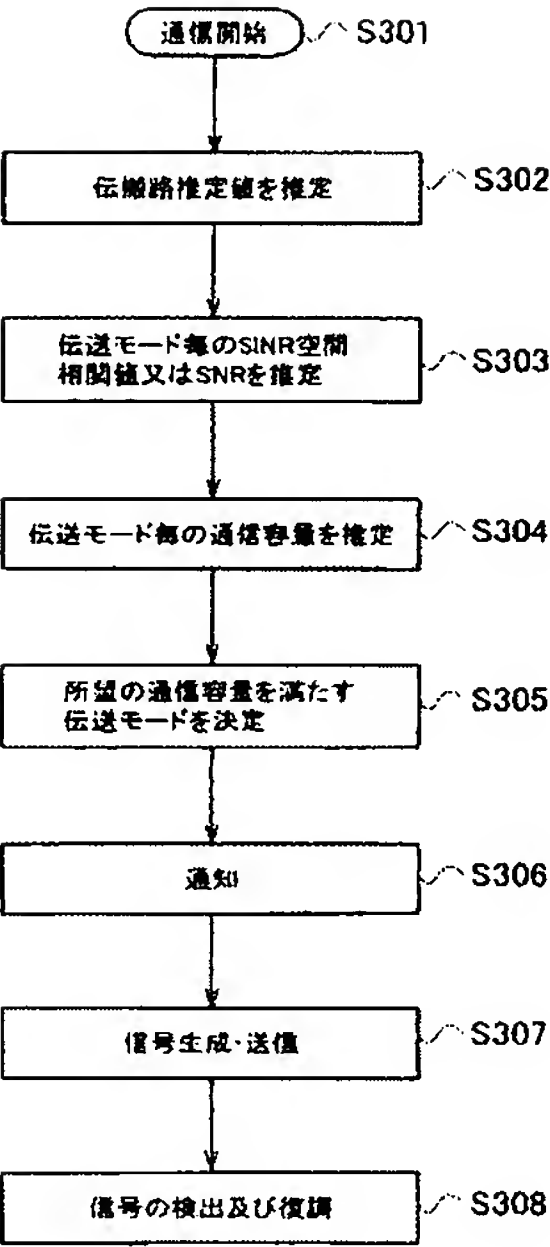
【図3】



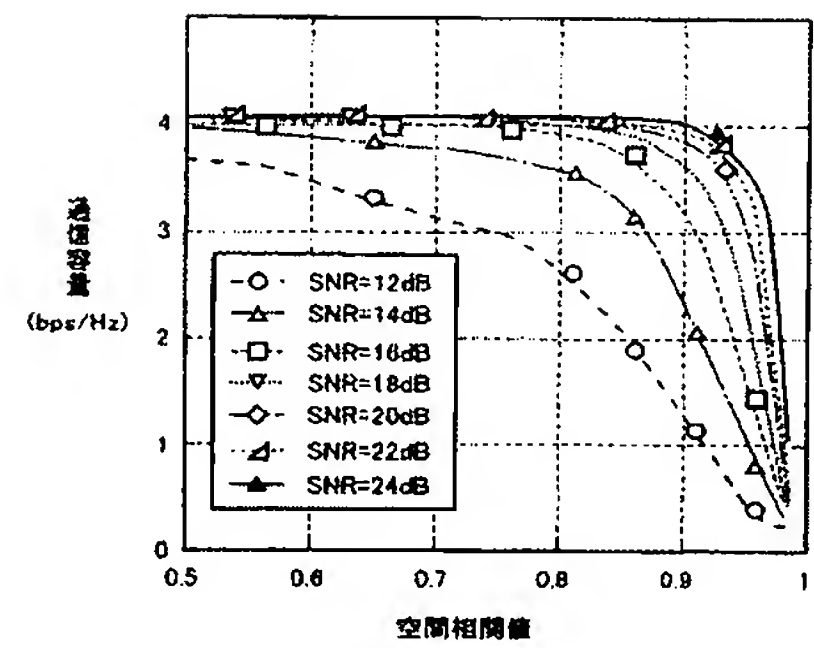
【図4】



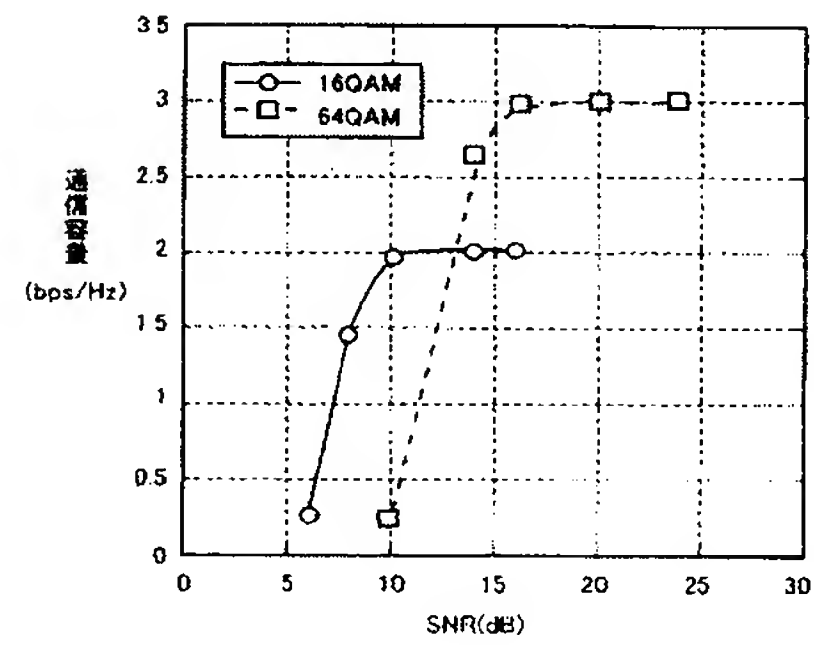
【図9】



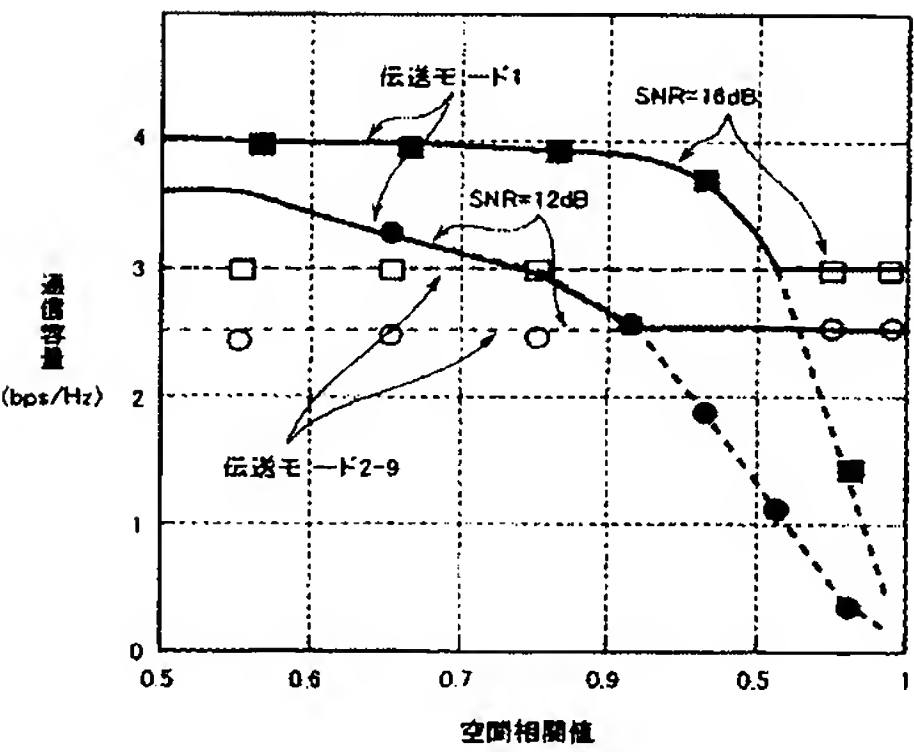
【図10】



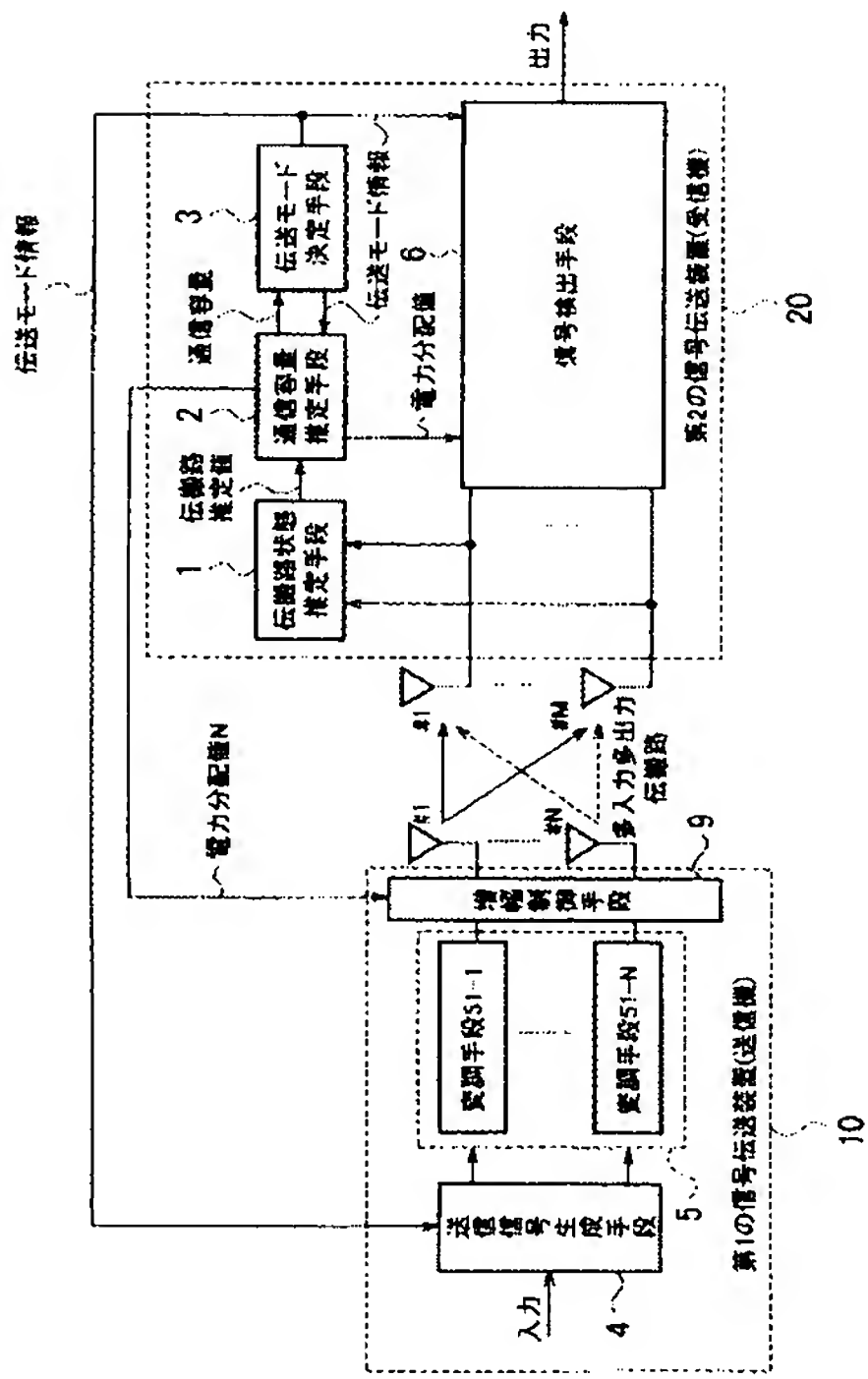
【図11】



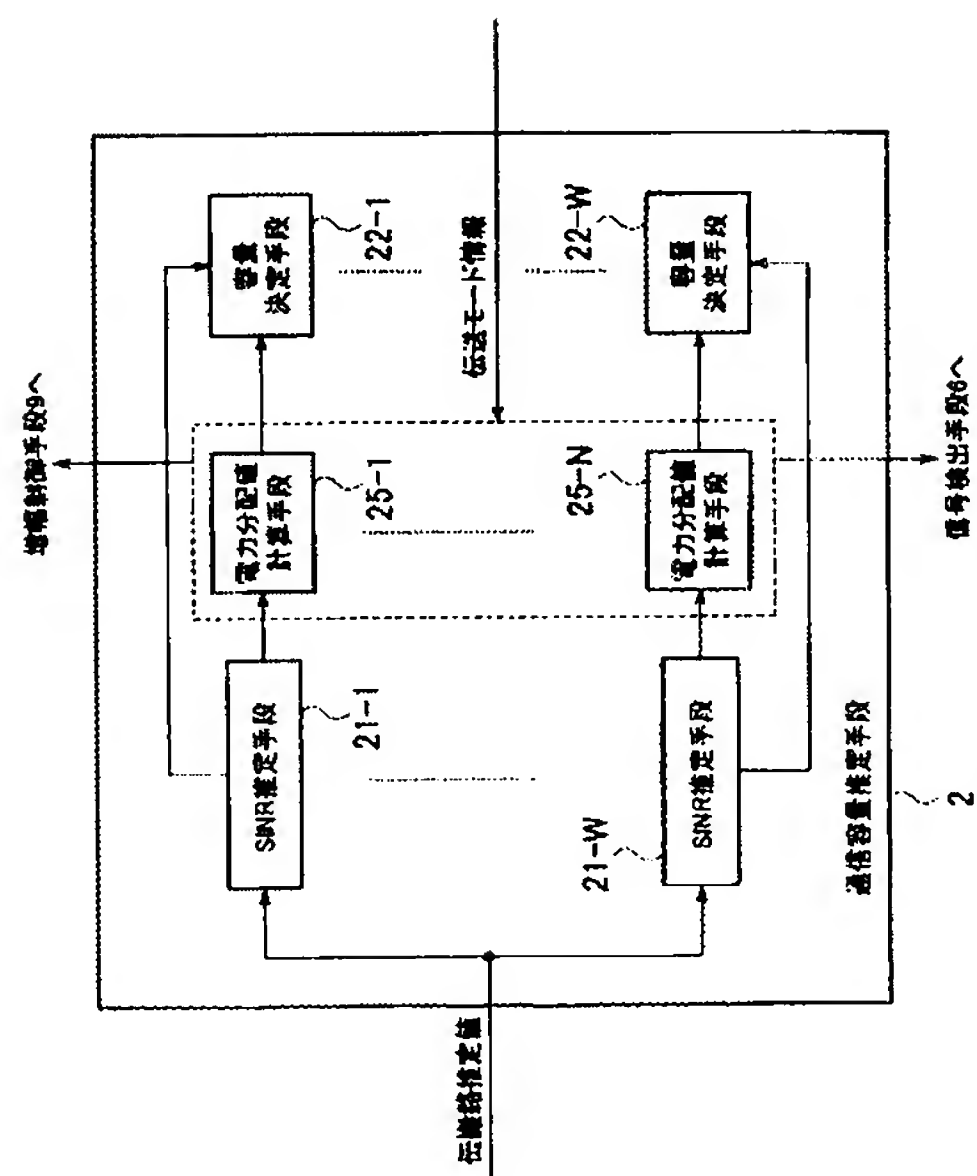
【図12】



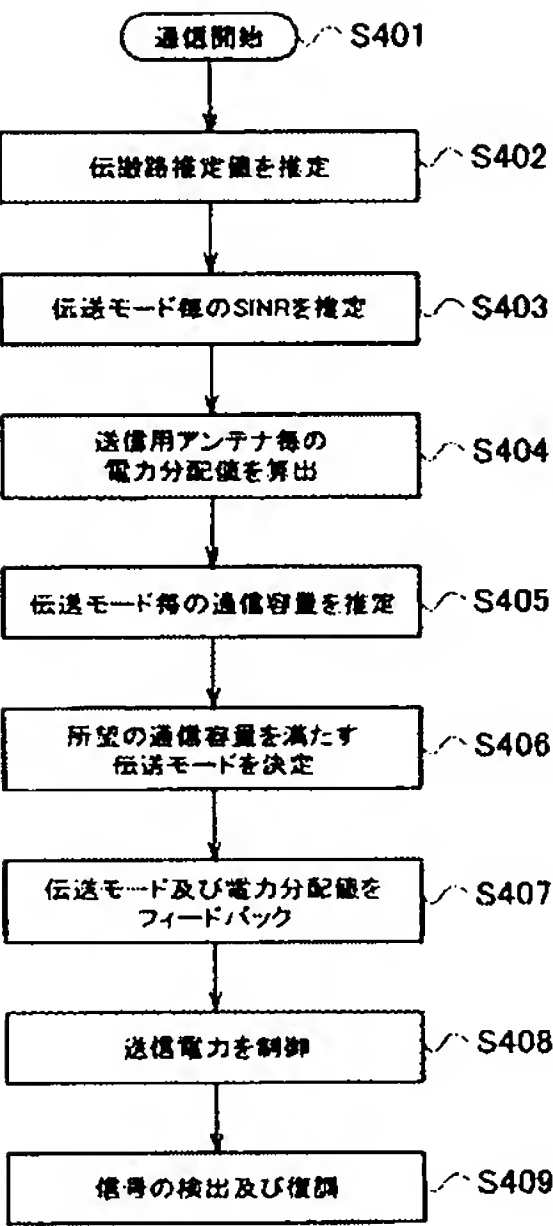
【図13】



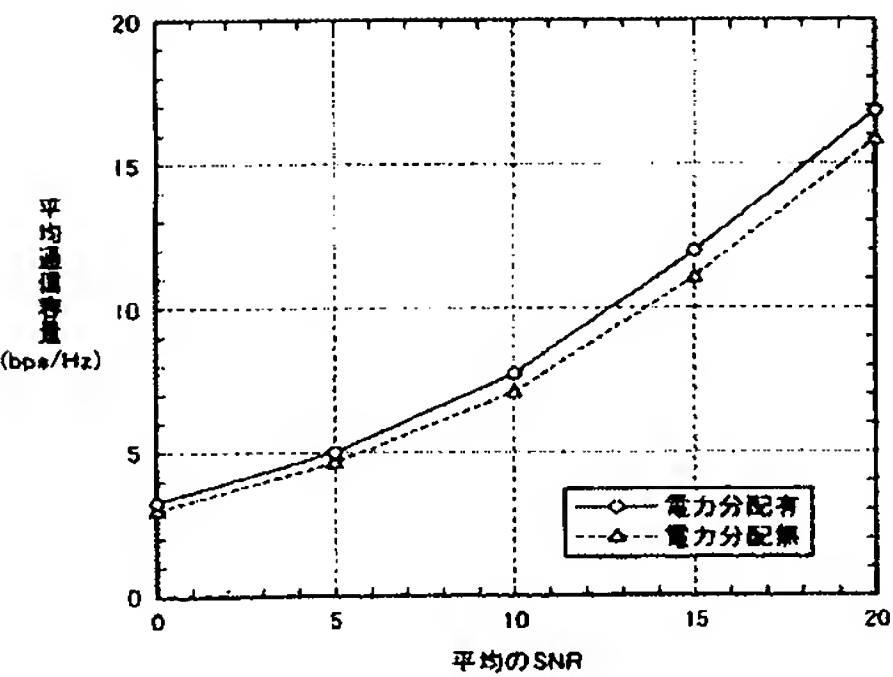
【図14】



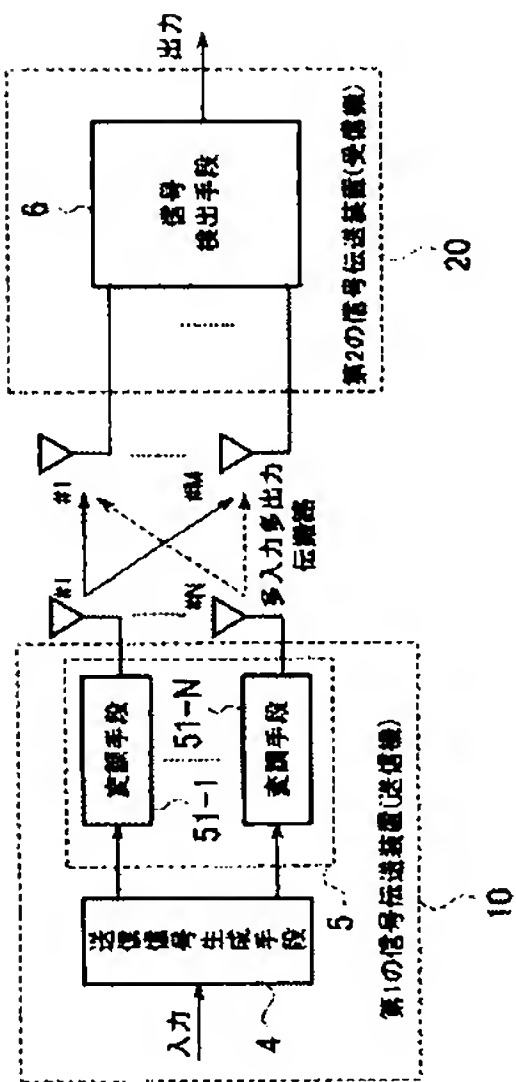
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 時 慧

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

(72)発明者 山田 武史

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

(72)発明者 富里 繁

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

(72)発明者 須田 博人

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

(72)発明者 正村 達郎

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内

Fターム(参考) 5K022 FF00

5K059 AA12 BB01 CC04 DD01 EE02